

Beschreibung**Verfahren und Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband**

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1; eine Anwendung eignet sich insbesondere für den Betrieb in einem Warmwalzwerk, z.B. in der Fertigstraße, ist jedoch nicht darauf beschränkt.

10 Des weiteren betrifft die Erfindung eine Steuervorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 10.

15 Aus der Deutschen Offenlegungsschrift **DE 198 51 554 A1** ist es bekannt, das Profil und/oder die Planheit eines Metallbandes beim Auslaufen aus einer Walzstraße zu ermitteln und zur Vorstellung einer Walzstraße zu verwenden. Die gemessene sichtbare Planheit wird hier einem neuronalen Netz in Form von Eingangsparametern zugeführt.

20 Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Walzstraße für Metallband derart zu betreiben, dass eine Steuerung bereitgestellt wird, die gewährleistet, dass eine geforderte sichtbare Planheit des gewalzten Metallbandes innerhalb vorgegebener Schranken 25 zuverlässig und mit hinreichender Genauigkeit eingehalten wird.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art, wobei bei der Steuerung der Walzgerüste die 30 sichtbare Planheit und eine intrinsische Planheit des Metallbandes unter Verwendung eines Beulmodells berücksichtigt werden.

Durch die erfindungsgemäß mit Hilfe des Beulmodells mögliche 35 Berücksichtigung sowohl der sichtbaren Planheit der Walzstraße als auch der intrinsischen Planheit können äußerst hohe Anforderungen hinsichtlich der Güte der sichtbaren Plan-

heit des Metallbandes erfüllt werden, obwohl die sichtbare Planheit bzw. Welligkeit des Metallbandes beim Walzen unter Zug, also zwischen den Walzgerüsten, mitunter völlig verschwindet und somit innerhalb der Walzstrasse in vielen Fällen praktisch nicht messbar ist.

Mittels des Beulmodells wird erstmalig ein eindeutiger Zusammenhang zwischen intrinsischer und sichtbarer Planheit des Metallbandes hergestellt. Somit wird es erstmals möglich,

0 nicht nur eine Voreinstellung auf Grundlage von Planheitsmessungen vorzunehmen, sondern die sichtbare Planheit zu einer genauen Steuerung bzw. Regelung des laufenden Walzvorgangs zu verwenden.

5 Mit Vorteil wird die sichtbare Planheit in Form eines Beulmusters ermittelt. Das Beulmuster ist datentechnisch leicht vergleichbar und mit verhältnismäßig geringem Aufwand speicherbar.

!0 Mit Vorteil ist das Beulmuster dreidimensional.

Mit Vorteil wird zur Ermittlung des Beulmusters des Metallbandes neben der relativen Länge einzelner Spuren des Metallbandes mindestens eine der Größen Wellenlänge, Amplitude und Phasenversatz der einzelnen Spuren ausgewertet. Das Beulmuster kann so wesentlich genauer erfasst werden.

Mit Vorteil wird zur Ermittlung des Beulmusters ein Mehrspur-Laser-Messgerät verwendet, was eine kostengünstige Erfassung des Beulmusters bei ausreichend hoher Präzision ermöglicht.

Mit Vorteil wird die sichtbare Planheit topometrisch gemessen. Derart wird eine flächenhafte Erfassung der Bandoberfläche und insbesondere des Beulmusters direkt möglich.

35

Mit Vorteil werden mittels des Beulmodells Werte für die sichtbare Planheit in Werte für die intrinsische Planheit

bzw. Werte für die intrinsische Planheit in Werte für die sichtbare Planheit übersetzt. Derart können mittels eines Materialflussmodells berechnete intrinsische Bandplanheiten und am Auslauf einer Walzstraße gemessene sichtbare Bandplanheiten an einander angepasst bzw. verifiziert werden.

Mit Vorteil erfolgt die Übersetzung der Planheiten online. Derart wird eine besonders exakte Steuerung bzw. Regelung der Bandplanheit ermöglicht.

Mit Vorteil erfolgt die Übersetzung der Planheiten unter Zuhilfenahme einer on-line-fähigen Approximationsfunktion. Derart kann On-line-Rechenzeit bei der Übersetzung zwischen sichtbarer und intrinsischer Planheit eingespart werden.

Mit Vorteil wird ausgehend von der intrinsischen Planheit des Metallbandes dessen Beulmuster mittels des Beulmodells durch Aufbringen einer fiktiven Temperaturverteilung in Querrichtung des Metallbandes modelliert. Die dieser Bandtemperaturverteilung entsprechende thermische Ausdehnung in Bandlängsrichtung, nicht aber in Querrichtung, entspricht einer der intrinsischen Planheit zuordenbaren Längenverteilung. Derart muss lediglich ein Segment begrenzter Länge modelliert werden und es können die Modellgleichungen der elastischen Plattenverformungen mit großen Auslenkungen mit geeigneten Randbedingungen an den Segmentkanten aufgestellt werden.

Mit Vorteil wird mittels eines Materialflussmodells eine intrinsische Planheit des Metallbandes – in Materialflussrichtung gesehen – vor einem physikalischen Messort der Planheit bestimmt.

Mit Vorteil werden zur Steuerung der Walzstraße ein oder mehrere Planheitsgrenzwerte an frei wählbaren Punkten innerhalb und/oder nach der Walzstraße vorgegeben. Die Planheitsgrenzwerte können sich auf die intrinsische Planheit und/oder die sichtbare Planheit beziehen. Dadurch, dass Plan-

heitsgrenzwerte überall innerhalb bzw. nach der Walzstraße vorgegeben werden können, können Regelgenauigkeiten für den Walzprozess wesentlich erhöht werden.

5 Die Aufgabe wird auch gelöst durch eine Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband mit mindestens einem Walzgerüst, insbesondere gemäß dem zuvor beschriebenen Verfahren, wobei die Steuervorrichtung mindestens eine Regelungseinheit aufweist, die mit einem Beulmodell gekoppelt
10 ist. Vorteilhafte Ausbildungen der Steuervorrichtung sind in Unteransprüchen angegeben. Die Vorteile der Steuervorrichtung ergeben sich analog zu denen des Verfahrens.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Figuren. Dabei zeigen:

FIG 1 eine mehrgerüstige Walzstraße zum Walzen von Metallband und eine der Walzstraße zugeordnete Steuervorrichtung,
20

FIG 2a-2c Beispiele für Metallbänder mit Planheitsfehlern,

FIG 3 die Untergliederung eines Metallbandes in Spuren,
25

FIG 4 einen Ausschnitt einer mehrgerüstigen Walzstraße mit Steuervorrichtung,

FIG 5 die Geometrie eines Abschnitts eines Metallbandes.
30

Gemäß **Figur 1** wird eine Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes 1 von einem Steuerrechner 2 gesteuert. Das Metallband 1 kann beispielsweise ein Stahlband, ein Aluminiumband oder ein Buntmetallband, insbesondere ein Kupferband, sein. Die
35 Walzstraße weist mindestens zwei Walzgerüste 3 auf.

Die Walzgerüste 3 weisen zumindest Arbeitswalzen 4 und - wie in Figur 1 für eines der Walzgerüste 3 angedeutet - in der Regel auch Stützwalzen 5 auf. Die Walzgerüste 3 könnten auch noch mehr Walzen aufweisen, beispielsweise axial verschiebbare Zwischenwalzen.

Das Metallband 1 durchläuft die Walzstraße in seiner Längsrichtung x, wobei die Querrichtung y des Metallbandes 1 weitestgehend parallel zu den Achsen der Arbeitswalzen 4 ist.

Die in Figur 1 gezeigte Walzstraße ist als Fertigstraße zum Warmwalzen von Stahlband ausgebildet. Die vorliegende Erfindung ist zwar besonders für die Anwendung bei einer mehrgerüstigen Fertigstraße zum Warmwalzen von Stahlband geeignet, jedoch nicht darauf beschränkt, insbesondere könnte die Walzstraße auch als Kaltwalzstraße (Tandemstraße) ausgebildet sein und/oder zum Walzen eines Nicht-Eisen-Metalls (z.B. Aluminium, Kupfer oder ein anderes Buntmetall) ausgebildet sein.

Die Steuervorrichtung 2 weist eine Regelungseinheit 11 auf. Diese weist ihrerseits ein Modul 10 zur Profil- und Planheitssteuerung auf, das mit einem Materialflussmodell 9 gekoppelt ist. Die Steuervorrichtung 2 gibt Gerüstreglern 6 Sollwerte für nicht näher dargestellte Profil- und Planheitsstellglieder vor. Die Gerüstregler 6 stellen die Stellglieder dann entsprechend den vorgegebenen Sollwerten ein.

Die der Steuervorrichtung 2 zugeführten Eingangsgrößen umfassen beispielsweise Stichplandaten wie eine Eingangsdicke des Metallbandes 1 sowie für jedes Walzgerüst 3 eine Walzkraft und eine Stichabnahme. Die Eingangsgrößen umfassen in der Regel ferner eine Enddicke, einen Sollprofilwert, einen Soll-Dickenkontur- und einen Soll-Planheitsverlauf des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße. Meist soll das gewalzte Metallband 1 so plan wie möglich sein.

Oft weist das Metallband 1 jedoch Planheitsfehler auf, wie sie in den Figuren 2a, 2b und 2c beispielhaft und schematisch dargestellt sind. Planheitsfehler des Metallbandes 1 können an einem Ort x₂, wie in Figur 1 angedeutet, beispielsweise mittels eines Mehrspur-Laser-Messgeräts 13 gemessen werden.

Figur 2a zeigt eine zentrische Ausbeulung des Metallbands 1. **Figur 2b** zeigt Planheitsfehler an den Rändern des Metallbandes 1. **Figur 2c** zeigt Ausbeulungen des Metallbandes 1, die in Längsrichtung x des Metallbandes 1 wiederholt auftreten, und zwar insbesondere in zwei Bereichen in Querrichtung y des Metallbandes 1.

Das Beulen des Metallbandes 1 wird insbesondere durch innere Spannungen im Metallband 1 verursacht. Innere Spannungen im Metallband 1 werden auch als intrinsische Bandplanheit ip bezeichnet.

Figur 3 zeigt die Einteilung eines Metallbandes 1 in fiktive Spuren S₁ bis S_n bzw. in Mess-Spuren S_{1'} bis S_{m'}. Würde man das Metallband 1 in schmale Längsstreifen bzw. in Spuren S₁ bis S_n zerschneiden, so könnte man dabei eine ungleiche Bandlängenverteilung (die intrinsische Bandlängenverteilung) messen, die ursächlich für die inneren Spannungen im Metallband 1 ist. Das Mehrspur-Laser-Messgerät 13 erfasst die relative Länge des Metallbandes 1 pro Mess-Spur S_{1'} bis S_{m'} und ermittelt vorzugsweise zusätzlich Größen wie beispielsweise die Wellenlänge, Amplitude und/oder den Phasenversatz der einzelnen Spuren S_{1'} bis S_{m'}. Entscheidend ist, dass für übereinstimmende fiktive Spuren S₁ bis S_n und Mess-Spuren S_{1'} bis S_{m'} die zugehörigen intrinsischen bzw. gemessenen relativen Längen nicht übereinstimmen.

Wie auch aus Figur 4 hervorgeht, wird beim Warmwalzen von Metallband 1 zwischen intrinsischer Bandplanheit ip und sichtbarer Bandplanheit vp unterschieden. Die intrinsische Bandplanheit ip bezeichnet, wie vorangehend ausgeführt, die

Bandlängenverteilung über die Spuren S₁ bis S_n. Die sichtbare Planheit vp ergibt sich aus dem Beulverhalten des Bandes, das unter anderem abhängig ist von Größen wie der Banddicke, der Bandbreite, dem E-Modul des Metallbandes 1 sowie dem Gesamtzug, unter dem sich das Metallband 1 befindet.

Gemäß **Figur 4** wird die sichtbare Planheit vp an einem Ort x₂ am Auslauf der Walzstraße, insbesondere eine Fertigstraße, gemessen und einem Beulmodell 12 zugeführt. Die Messung der sichtbaren Planheit vp erfolgt erfindungsgemäß derart, dass nicht nur die sichtbare Bandlängen-Verteilung über die Bandbreite in Querrichtung y Ausgabegröße einer Messeinrichtung ist, sondern aus den Messeinrichtungs-Ausgabegrößen das dreidimensionale Beulmuster des Bandes rekonstruierbar ist. Bei einem Mehrspur-Lasermesssystem wird dementsprechend nicht nur die (relative) Länge der einzelnen Mess-Spuren S_{1'} bis S_{m'}, sondern auch Wellenlänge und Phasenversatz für jede Spur S_{1'} bis S_{m'} von der Messeinrichtung ausgegeben. Bei einer topometrischen Messung der sichtbaren Planheit vp wird die Oberflächenstruktur des Metallbandes 1 flächenhaft und dreidimensional über große Bereiche des Metallbandes 1 erfasst. Eine topometrische Bandplanheitsmessung beruht vorzugsweise auf einem Streifen-Projektions-Verfahren. Dabei werden Streifenmuster auf die Oberfläche des Metallbandes 1 projiziert und mit Hilfe einer Matrix-Kamera kontinuierlich erfasst.

Die intrinsische Planheit ip wird vorzugsweise an einem Ort x₁ zwischen bzw. nach den Walzgerüsten 3, insbesondere zwischen und/oder nach den Walzgerüsten 3 einer Fertigstraße, berechnet. Die Berechnung erfolgt dabei vorzugsweise mittels eines Materialflussmodells 9 (siehe Figur 1), das vorzugsweise Bestandteil einer Regelungseinheit 11 ist. An einem Ort x₂ am Auslauf der Walzstraße, an dem die sichtbare Planheit vp gemessen wird, kann die vom Materialflussmodell 9 berechnete intrinsische Planheit ip unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 mit der gemessenen sichtbaren Planheit vp verglichen werden. Insbesondere bei einem Kaltwalzwerk wäre grundsätzlich

auch eine Messung der intrinsischen Planheit ip am Metallband 1 möglich.

Durch das Beulmodell 12 wird ein eindeutiger Zusammenhang 5 zwischen intrinsischer Planheit ip und sichtbarer Planheit vp hergestellt, soweit dies möglich ist. So kann beispielsweise bei einem sehr dicken Metallband 1 mit moderater intrinsi- 10 scher Unplanheit aus dem Beulverhalten nicht auf die intrinsische Planheit ip geschlossen werden, da ein derartiges Metallband 1 in der Regel nicht beult.

Die Ermittlung der unterschiedlichen Planheiten (ip bzw. vp) erfolgt vorzugsweise in nachfolgender Reihenfolge:

15 1. Die sichtbare Planheit vp, die dem Beulverhalten des Metallbandes 1 entspricht, wird in der Regel nach einem letzten Walzgerüst 3 beispielsweise am Auslauf einer Fertigstraße gemessen.

20 2. Mittels des Beulmodells 12 wird die intrinsische Planheit ip des Metallbandes 1 am Messort der sichtbaren Planheit vp (vgl. Schritt 1.) ermittelt.

25 3. Mittels des Materialflussmodells 9 wird die intrinsische Planheit ip zwischen den Walzgerüsten 3, also beispielsweise innerhalb der Fertigstraße, bestimmt. Die intrinsische Planheit kann so – in Materialflussrichtung gesehen – vor dem physikalischen Messort der Planheit, hier der intrinsischen Planheit, bestimmt werden.

30 Der Zusammenhang zwischen einer intrinsischen Planheit ip zwischen den Walzgerüsten 3 und einer intrinsischen Planheit ip nach dem letzten der Walzgerüste 3 wird über das Materialflussmodell 9 hergestellt. Dem Materialflussmodell 9 können 35 Eingangsgrößen wie die Banddickenkonturen des Metallbandes 1 sowie Planheitsverläufe bzw. Planheiten vor und nach dem Durchlaufen eines Walzgerüsts 3 zugeführt werden. Das Mate-

rialflussmodell 9 ermittelt online den intrinsischen Planheitsverlauf des Metallbandes 1 nach dem Durchlaufen des Walzgerüstes 3 sowie einen Walzkraftverlauf in Querrichtung y des Metallbandes 1 und führt ihn einem nicht näher darge-
5 stellten Walzenverformungsmodell zu. Das nicht näher darge-
stellte Walzenverformungsmodell ist vorzugsweise Bestandteil einer Regelungseinheit 11. Das Walzenverformungsmodell ermit-
telt Walzenverformungen und führt sie einem nicht näher dar-
gestellten Sollwertermittler zu, der anhand der ermittelten
10 Walzenverformungen und eines gerüst-auslaufseitigen Kontur-
verlaufs des Metallbandes 1 die Sollwerte für die Profil- und Planheitsstellglieder in jedem einzelnen Walzgerüst 3 ermit-
telt.

15 Durch die Verwendung des Beulmodells 12 können das Material-
flussmodell 9 und die im Modul 10 implementierte Profil- und Planheitssteuerung (siehe jeweils Figur 1) den Messdaten der sichtbaren Planheit vp angepasst werden. Für die sichtbare Planheit vp bzw. für die entsprechende sichtbare Bandunplan-
heit können untere und obere Schranken angegeben werden, die unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 in Schranken für die intrinsische Planheit ip bzw. intrinsische Unplanheit über-
setzt werden können. Das Beulmodell 12 berechnet aus der in-
trinsischen Unplanheit das Beulmuster des Metallbandes 1. Aus
20 dem berechneten Beulmuster lässt sich wiederum die sichtbare Unplanheit ermitteln. Für den Umkehrschluss wird eine inverse Modellierung verwendet.

25 Das Beulmodell 12 basiert vorzugsweise auf der Theorie elas-
tischer Plattenverformungen. Die intrinsische Planheit ip wird dadurch modelliert, dass eine fiktive Bandtemperaturver-
teilung über die Bandbreite, d.h. in Querrichtung y, aufge-
bracht wird, die zu einer thermischen Ausdehnung in Längs-
richtung x des Metallbandes 1 führt, und zwar gleich der zur
30 intrinsischen Planheit ip gehörigen Längenverteilung.
35

Man betrachte nun ein wie in **Figur 5** dargestelltes Bandsegment mit der Länge a , der Breite b und der Dicke h . In der Zeichnung angegeben sind ferner die Längsrichtung x , Querrichtung y sowie eine Lotrechte z . Modelliert wird lediglich
5 ein Bandsegment mit einer Länge a von einer halben oder einer ganzen Grundbeullänge, und zwar mit periodischen Randbedingungen an Kopf- und Fußenden des Bandsegments. Die Randbedingungen an den Bandkanten sind die freier Ränder. Die Modellgleichungen sind partielle Differentialgleichungen sowie die
10 dazugehörigen Randbedingungen, die beispielsweise mittels Finiter-Differenzen-Verfahren oder Finiter-Elemente-Verfahren gelöst werden können.

In Abhängigkeit von der Rechenzeit des Lösungsalgorithmus
15 kann das Beulmodell 12 unmittelbar online eingesetzt werden. Alternativ kann mittels eines Offline-Modells eine online-fähige Approximationsfunktion generiert werden, die dann online für das Beulmodell 12 eingesetzt wird.

20 Um die Funktionsweise des Beulmodells 12 besser zu verstehen, muss man zunächst erkennen, dass beispielsweise beim Warmwalzen eines Metallbandes 1 die gemessenen Ablenkungen des Metallbandes 1, die auf das Beulen des Metallbandes 1 zurückzuführen sind, in der Regel eine deutlich größere Größenordnung
25 aufweisen, als die Banddicke h . Typischerweise ist ihre Größenordnung jedoch bedeutend geringer als sowohl die typische Wellenlänge des Beulverhaltens wie auch die Bandbreite b . Während die klassische, lineare Theorie der Plattenverformung nur gilt, wenn die Ablenkungen kleiner gleich ungefähr $1/5$
30 der Banddicke h sind, muss im vorliegenden Fall eine nicht-lineare Beschreibung der Plattenverwerfungen angewandt werden. Neben den in Figur 5 gezeigten Größen, die das Metallband 1 beschreiben, wird auch auf das Elastizitätsmodul, kurz E-Modul zurückgegriffen, wobei in der Regel von einem konstanten E-Modul ausgegangen wird. Das nicht-lineare Beulverhalten lässt sich nun wie folgt beschreiben:
35

11

$$(I) \frac{D}{h} \cdot \nabla^4 w(x, y) = \frac{p}{h} + L(w(x, y), \Phi(x, y))$$

Dabei sind in der Bandebene wirkende Kräfte in Form eines Potentials Φ , das gemeinhin auch als Airy's Spannung-

5 ("stress")-Funktion bezeichnet wird, ausgedrückt.

w bezeichnet die vertikale Verschiebung ("displacement") des Metallbandes 1 während p die von außen wirkende Druckverteilung beschreibt, die in der Lotrechten z wirkt. D wird durch nachfolgende Gleichung definiert:

10

$$(II) D: = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

Dabei steht E für das E-Modul und ν steht für die Querkontraktionszahl des Metallbandes 1.

15 Außerdem gilt für den Term L(w, Φ) aus Gleichung (I):

$$(III) L(w, \Phi): = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}$$

Macht man nun noch Annahmen hinsichtlich thermisch verursachter innerer Spannungen ("stresses") und Dehnungen

20 ("strains"), so ergibt sich:

(IV)

$$\frac{1}{E} \cdot \nabla^4 \Phi(x, y) + \kappa_x \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} + \kappa_y \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{1}{2} L(w(x, y), w(x, y))$$

25 Dabei bezeichnet T die Temperatur im Metallband 1 und κ_x bzw. κ_y den Koeffizienten der thermischen Expansion in Längs- bzw. Querrichtung (x bzw. y).

Die Gleichungen (I) und (IV) bilden ein System zweier gekoppelter, nicht-linearer, partieller Differentialgleichungen. Setzt man nun noch geeignete Randbedingungen ein wie beispielsweise freie Ränder bzw. periodische Randbedingungen an

12

Kopf- und Fußende eines Bandsegments, so können die Gleichungen (I) und (IV) numerisch in iterativer Weise gelöst werden.

Der Grundgedanke der Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband 1, die mindestens ein Walzgerüst 3 aufweist, wobei die intrinsische Planheit ip des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße ermittelt wird. Um die Einhaltung einer geforderten sichtbaren Planheit vp des gewalzten Metallbandes 1 innerhalb vorgegebener Schranken zuverlässig und mit hinreichender Genauigkeit zu gewährleisten, wird vorgeschlagen, die sichtbare Planheit vp bzw. das Beulverhalten des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße zu ermitteln bzw. vorzugsweise zu messen und mittels eines Beulmodells 12 in die intrinsische Planheit ip des Metallbandes 1 zu übersetzen. Die sichtbare Planheit kann so online unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 zu Steuerung der Walzgerüste der Walzstraße verwendet werden. In der gesamten Walzstraße kann die sichtbare Planheit vp erfindungsgemäß vorzugsweise online unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 besser reguliert werden.

Das Beulmodell 12 ist online-fähig und stellt eine eineindeutige Beziehung zwischen der absoluten intrinsischen Planheit ip des gewalzten Metallbandes 1 und dem tatsächlich gemessenen visuellen Defekten des Metallbandes 1, also der sichtbaren Planheit vp , her. Erstmals wird die Verifikation, Anpassung und Abstimmung eines auf der intrinsischen Planheit fußenden Materialflussmodells 9 bzw. seiner entsprechenden Profil- und Planheitssteuerung in Bezug auf die tatsächlichen Messwerte ermöglicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband (1), die mindestens ein Walzgerüst (3) aufweist, wobei eine sichtbare Planheit (vp) des Metallbandes (1) am Auslauf der Walzstraße berücksichtigt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der Steuerung der Walzgerüste die sichtbare Planheit (vp) und eine intrinsische Planheit (ip) des Metallbandes (1) unter Verwendung eines Beulmodells (12) berücksichtigt werden.
2. Verfahren nach Patentanspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die sichtbare Planheit (vp) in Form eines Beulmusters ermittelt wird.
3. Verfahren nach Patentanspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass das Beulmuster dreidimensional ist.
4. Verfahren nach Patentanspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Beulmusters neben der relativen Länge einzelner Spuren (S1 bis Sn) des Metallbandes (1) mindestens eine der Größen Wellenlänge, Amplitude und Phasenversatz der einzelnen Spuren (S1 bis Sn) ausgewertet wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der intrinsischen Planheit (ip) ein Mehrspur-Laser-Messgerät (13) verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die sichtbare Planheit (VP) topometrisch gemessen wird.

14

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels
des Beulmodells (12) Werte für die sichtbare Planheit (vp) in
Werte für die intrinsische Planheit (ip) übersetzt werden.

5

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels
des Beulmodells (12) Werte für die intrinsische Planheit (ip)
in Werte für die sichtbare Planheit (vp) übersetzt werden.

10

9. Verfahren nach Patentanspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass die
Übersetzung der Planheiten (ip bzw. vp) online erfolgt.

15

10. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die
Übersetzung der Planheiten (ip bzw. vp) unter Zuhilfenahme
einer online-fähigen Approximationsfunktion erfolgt.

20

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass ausge-
hend von der intrinsischen Planheit (ip) des Metallbandes (1)
dessen Beulmuster mittels des Beulmodells (12) durch Aufbrin-
gen einer fiktiven Temperaturverteilung in Querrichtung (y)
25 des Metallbandes (1) ermittelt wird.

30

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels
eines Materialflussmodells (9) eine intrinsische Planheit
(ip) vor einem physikalischen Messort der Planheit bestimmt
wird.

35

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur
Steuerung der Walzstraße ein oder mehrere Planheitsgrenzwerte
an frei wählbaren Punkten vorgegeben werden.

14. Steuervorrichtung (2) zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband (1) mit mindestens einem Walzgerüst (3), insbesondere nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Patentansprüche, wobei die Steuervorrichtung (2) mindestens eine Regelungseinheit (11) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinheit (11) mit einem Beulmodell (12) gekoppelt ist.

15. Steuervorrichtung (2) nach Patentanspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass das Beulmodell (12) mit einer Vorrichtung zum Messen der sichtbaren Planheit (vp) des Metallbandes (1) gekoppelt ist.

16. Steuervorrichtung (2) nach Patentanspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (2) mindestens ein Materialflussmodell (9) aufweist.

17. Steuervorrichtung (2) nach einem der Patentansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Messung der sichtbaren Planheit (vp) ein Mehrspur-Laser-Messgerät (13) ist.

18. Steuervorrichtung (2) nach einem der Patentansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Beulmodell (12) zur Ermittlung eines Beulmusters des Metallbandes (1) mit mindestens einem topometrischen Messsystem gekoppelt ist.

1/3

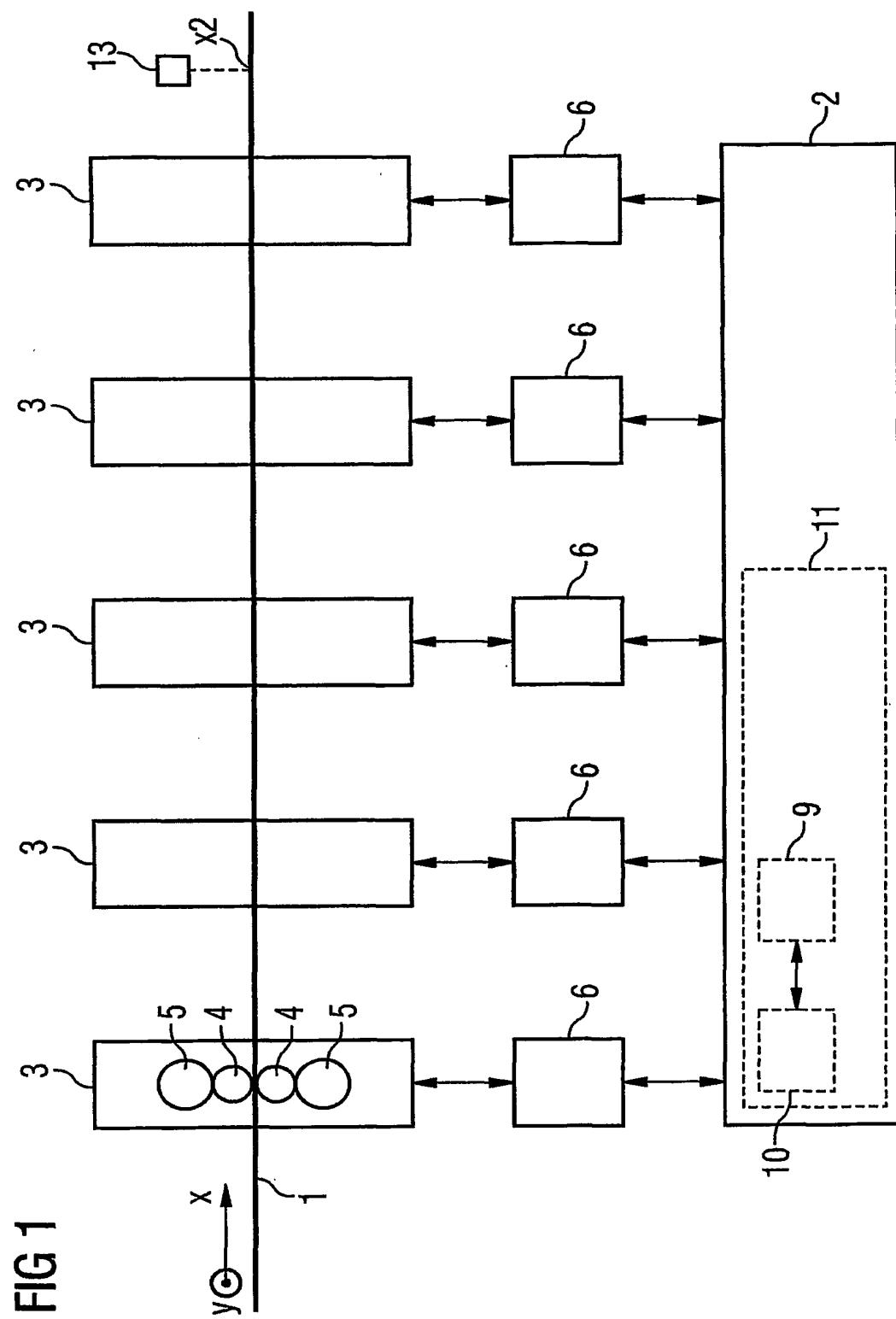
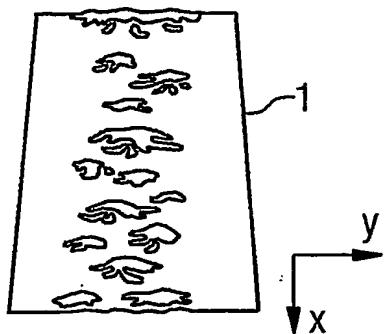
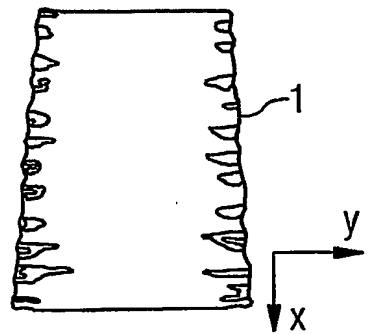
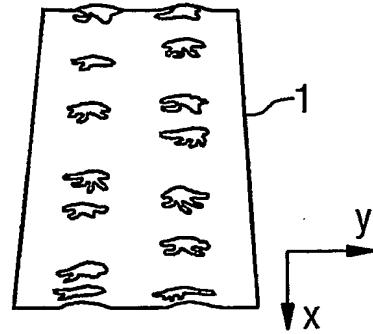
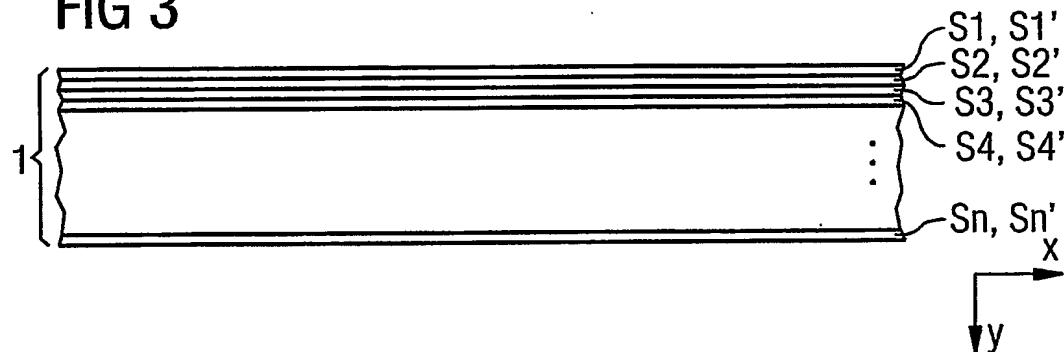
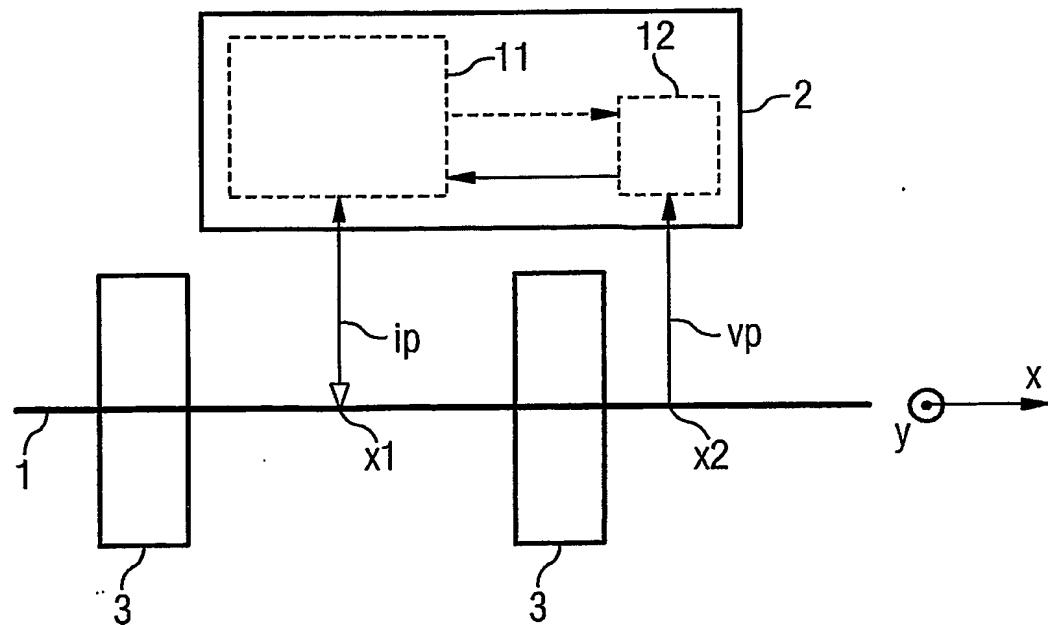
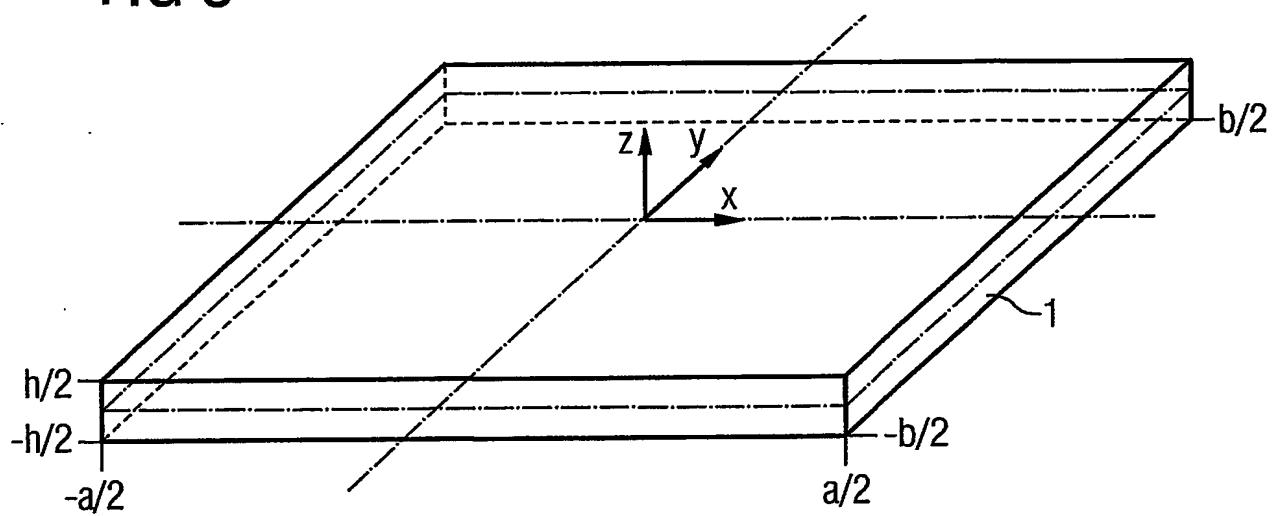


FIG 1

2/3

FIG 2A**FIG 2B****FIG 2C****FIG 3****FIG 4**

3/3

FIG 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/011171

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B21B37/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B21B G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 197 58 466 A (BETR FORSCH INST ANGEW FORSCH ; KRUPP HOESCH STAHL AG (DE); GOM GES FU) 15 October 1998 (1998-10-15) column 3, line 20 – column 4, line 3; claims 1,2; figures 1,2	1,2,7-16
Y	EP 1 055 905 A (IMS MESSSYSTEME GMBH) 29 November 2000 (2000-11-29) column 1, paragraph 2 column 2, paragraph 11 – column 3, paragraph 19; figure 6	3-6,17, 18
Y	US 4 752 695 A (PIRLET ROBERT) 21 June 1988 (1988-06-21) column 3, line 26 – line 46	3,4,6,18
Y		5,17
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

12 January 2005

Date of mailing of the International search report

19/01/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Forciniti, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/011171

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 21 04 886 A (SCHLOEMANN AG) 24 August 1972 (1972-08-24) claims 1-3,6; figures 1,2 -----	1,2,7-16
Y		3-6,17, 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/011171

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
DE 19758466	A	15-10-1998	DE	19709992 C1		01-10-1998
			DE	19758466 A1		15-10-1998
			EP	1418400 A2		12-05-2004
			EP	0864847 A2		16-09-1998
			JP	11002511 A		06-01-1999
			US	2001012388 A1		09-08-2001
			US	6286349 B1		11-09-2001
EP 1055905	A	29-11-2000	DE	19947572 A1		21-12-2000
			AT	270424 T		15-07-2004
			DE	50006932 D1		05-08-2004
			EP	1055905 A2		29-11-2000
			JP	3486152 B2		13-01-2004
			JP	2001004350 A		12-01-2001
			US	6480802 B1		12-11-2002
US 4752695	A	21-06-1988	BE	902359 A1		06-11-1985
			AT	66066 T		15-08-1991
			CA	1255093 A1		06-06-1989
			EP	0201475 A2		12-11-1986
			JP	1928392 C		12-05-1995
			JP	6058217 B		03-08-1994
			JP	61281912 A		12-12-1986
DE 2104886	A	24-08-1972	DE	2104886 A1		24-08-1972

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011171

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B21B37/28

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B21B G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal , PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 197 58 466 A (BETR FORSCH INST ANGEW FORSCH ; KRUPP HOESCH STAHL AG (DE); GOM GES FU) 15. Oktober 1998 (1998-10-15) Spalte 3, Zeile 20 – Spalte 4, Zeile 3; Ansprüche 1,2; Abbildungen 1,2	1,2,7-16
Y	EP 1 055 905 A (IMS MESSSYSTEME GMBH) 29. November 2000 (2000-11-29) Spalte 1, Absatz 2 Spalte 2, Absatz 11 – Spalte 3, Absatz 19; Abbildung 6	3-6,17, 18
Y	US 4 752 695 A (PIRLET ROBERT) 21. Juni 1988 (1988-06-21) Spalte 3, Zeile 26 – Zeile 46	3,4,6,18
Y		5,17
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

12. Januar 2005

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

19/01/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Forciniti, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011171

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 21 04 886 A (SCHLOEMANN AG) 24. August 1972 (1972-08-24) Ansprüche 1-3,6; Abbildungen 1,2 -----	1,2,7-16
Y		3-6,17, 18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/011171

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19758466	A	15-10-1998	DE 19709992 C1 DE 19758466 A1 EP 1418400 A2 EP 0864847 A2 JP 11002511 A US 2001012388 A1 US 6286349 B1		01-10-1998 15-10-1998 12-05-2004 16-09-1998 06-01-1999 09-08-2001 11-09-2001
EP 1055905	A	29-11-2000	DE 19947572 A1 AT 270424 T DE 50006932 D1 EP 1055905 A2 JP 3486152 B2 JP 2001004350 A US 6480802 B1		21-12-2000 15-07-2004 05-08-2004 29-11-2000 13-01-2004 12-01-2001 12-11-2002
US 4752695	A	21-06-1988	BE 902359 A1 AT 66066 T CA 1255093 A1 EP 0201475 A2 JP 1928392 C JP 6058217 B JP 61281912 A		06-11-1985 15-08-1991 06-06-1989 12-11-1986 12-05-1995 03-08-1994 12-12-1986
DE 2104886	A	24-08-1972	DE 2104886 A1		24-08-1972